

## Repositório ISCTE-IUL

---

Deposited in *Repositório ISCTE-IUL*:

2018-07-20

Deposited version:

Publisher Version

Peer-review status of attached file:

Peer-reviewed

Citation for published item:

Albuquerque, S. & Sampaio, M. (2017). Avaliação da rede do metro de Lisboa e de cenários de expansão utilizando medidas de centralidade. In ICEUBI2017 – International Congress on Engineering – A Vision for the Future. Covilhã: University of Beira Interior.

Further information on publisher's website:

--

Publisher's copyright statement:

This is the peer reviewed version of the following article: Albuquerque, S. & Sampaio, M. (2017). Avaliação da rede do metro de Lisboa e de cenários de expansão utilizando medidas de centralidade. In ICEUBI2017 – International Congress on Engineering – A Vision for the Future. Covilhã: University of Beira Interior.. This article may be used for non-commercial purposes in accordance with the Publisher's Terms and Conditions for self-archiving.

---

### Use policy

Creative Commons CC BY 4.0

The full-text may be used and/or reproduced, and given to third parties in any format or medium, without prior permission or charge, for personal research or study, educational, or not-for-profit purposes provided that:

- a full bibliographic reference is made to the original source
- a link is made to the metadata record in the Repository
- the full-text is not changed in any way

The full-text must not be sold in any format or medium without the formal permission of the copyright holders.

---

## **Evaluation of the Lisbon subway network and its expansion scenarios using graph centrality measures**

## **Avaliação da rede do metro de Lisboa e de cenários de expansão utilizando medidas de centralidade**

Sara Albuquerque; arqsaralbuquerque@gmail.com

ISCTE-IUL

Mafalda Sampayo - mgts@iscte-iul.pt

ISCTE-IUL

### **Abstract**

An application of graph centrality measures is presented for the case of Lisbon's subway development between 1956 and 2017. Two expansion scenarios from 2003 and 2017 that were not executed are also analysed. This paper also shows the evolution of Lisbon's subway network and describes the key moments of its expansion in connection with specific events happening in the city. It shows how the subway can shape the city in the future in respect to the centrality of different areas, as consequence of the proposed planning for the subway expansion. The expansion of the network from the city core to the suburbs hasn't been done by densification of the network, but by a linear growth, keeping Saldanha station with the highest centrality since 2009. This work also shows the need for an integrated study of different types of city transportation networks (subway, bus, and train).

### **Resumo**

Este artigo apresenta uma aplicação de medidas de centralidade para avaliação do desenvolvimento do metropolitano de Lisboa entre 1956 e 2017 e de cenários de expansão da sua rede propostos entre 2003 e 2017. Apresenta esquemas sobre a evolução da rede do metro de Lisboa e descreve os momentos mais significativos de crescimento na rede, em função de acontecimentos específicos na Cidade. Mostra como poderá alterar a cidade no futuro, relativamente a mudanças no grau de centralidade de determinadas áreas, por consequência do planeamento proposto para a expansão da rede de metro de Lisboa. A expansão da rede para a periferia da cidade não se tem realizado pela densificação da rede, mas antes por um crescimento linear, mantendo-se assim a grande centralidade no Saldanha, desde 2009. Este artigo justifica a necessidade dum estudo do cruzamento de redes diferenciadas (metro, autocarro, comboio) para a cidade de Lisboa.

### **Keywords**

measures of centrality; network; infrastructure; Lisbon; Lisbon



## Avaliação da rede do metro de Lisboa e de cenários de expansão utilizando medidas de centralidade

Na organização do território, o traçado das linhas de trajeto dos meios de transporte, bem como os seus pontos de paragem (apeadeiros, estações e paragens) definem grande parte do desenho da malha urbana. A instalação e a expansão dos núcleos urbanos têm em conta os locais mais favoráveis para o desempenho de atividades, onde a acessibilidade é fundamental para o encontro e relações, de que dependem as funções urbanas. Neste sentido, os transportes são responsáveis pela origem, transformação e evolução territorial [1].

Nos diferentes meios de transporte, enquanto sistemas organizadores do espaço, o automóvel, pelo facto de oferecer maior destreza e liberdade de deslocação, assume-se como um elemento descentralizador, que permite a dispersão do edificado. Por outro lado, o caminho-de-ferro ou o metropolitano são considerados elementos centralizadores, verificando-se a localização de aglomerados de povoações em volta das estações correspondentes [1].

A acessibilidade permite a união de aglomerados e a conexão entre territórios distantes. Apesar disto, o desenho das redes de transporte, quando sobreposto ao desenho do aglomerado urbano, pode também criar processos de rutura e fragmentação no território. O sistema do metropolitano, enquanto sistema subterrâneo ou aéreo, resolve este tipo de fraturas [2].

Os transportes são fundamentais no desenvolvimento urbano, hierarquizam, valorizam os locais e transformam os seus usos. Os diferentes tipos de transporte podem ser elementos centralizadores ou descentralizadores no tecido urbano [1], mas a combinação de modos de transporte em interfaces é um fator de atractividade e centralidade ainda maior.

No exemplo da cidade de Lisboa os diferentes tipos de transporte foram decisivos para o seu desenvolvimento. O surgimento do elétrico permite o desenvolvimento da cidade desde o rio para norte, enquanto o comboio e o transporte rodoviário estabeleceram relações entre a cidade e a periferia, desenvolvendo a zona exterior à cidade [1]. O traçado do metropolitano (Fig.1), ainda com uma rede reduzida permitiu o atravessamento de toda a cidade e o desenvolvimento de algumas áreas na periferia possibilitando deslocações ao centro de forma rápida, hierarquizando e valorizando zonas da cidade [3].

Através da análise da evolução da rede do metropolitano ao longo do tempo é possível verificar uma transformação e igualmente uma evolução da cidade à superfície, assim como perceber que, quando se criam alterações na cidade subterrânea, ou seja na rede do metro, também se modificam as dinâmicas à superfície [3].

A construção da rede de metro parte do centro histórico de Lisboa com direções para norte, expandindo-se posteriormente para ocidente e mais tarde transgredindo os limites administrativos da cidade (Fig.2) [3].

Num gráfico sobre o desenvolvimento da rede do metropolitano de Lisboa, conseguimos perceber que a sua expansão ao longo dos anos ocorre de forma lenta (Fig. 3) [4]. Contudo, existem períodos com picos de crescimento, aquando dos grandes eventos internacionais [5]. Na fase entre 1972 e 1987 observa-se o aumento de 5 estações de metro [5 e 6], que se pode justificar provavelmente devido ao crescimento demográfico nesse período (Fig. 2 e 3). O ano de 1995 não assume nenhum acréscimo de estações, mas torna-se significativo, por surgir uma segunda linha - a linha amarela, que vai possibilitar circuitos independentes no metro e, por sua vez, uma maior expansão da rede (Fig.2). No ano de 1998 são criadas outras duas linhas na rede - linha vermelha e linha verde, em que a linha vermelha é composta por mais 6 novas estações [6] (Fig. 2 e 3). Este grande aumento na rede deveu-se à exposição Mundial de Lisboa. Já no ano de 2004, a expansão da rede, para norte e em direção à periferia, justifica-se pela facilitação de acesso aos estádios de futebol, por se tratar do ano do campeonato europeu - UEFA [5]. A importância do ano de 2009 na rede do metro tem a ver com o facto do prolongamento da linha vermelha atravessar todas as restantes linhas, possibilitando a



correspondência e circulação mais eficaz na rede. No ano de 2012 são acrescentadas 3 novas estações e o acesso ao Aeroporto de Lisboa [6], criando um interface importante na rede (Fig.2). Por último, assinala-se o ano de 2016 com a extensão da linha Azul até à Reboleira [6], no concelho da Amadora, que vai permitir mais uma ligação à linha ferroviária de Sintra, originando outro interface de transportes.

Na análise do desenvolvimento da rede de metro de Lisboa podemos observar, não só o acréscimo de novas estações e consequentemente o surgimento de novos aglomerados urbanos, mas também a mutação de lugares em função das interações entre estações, na própria rede de metro. Cada estação de metro é um fator de atracção e potencia diferentes usos na cidade [5]. A atratividade do metro, relacionada com as funções da cidade, muda constantemente o modo de funcionamento da mesma, enquanto estrutura social e pode mudar também a imagem da arquitetura e urbanismo da cidade [5].

Neste sentido, a análise sobre o grau de centralidade de cada estação de metro poderá demonstrar o correspondente ao desenvolvimento da cidade, ou seja, as áreas de influência das estações têm um maior desenvolvimento e valorização a nível económico, social e arquitetónico.

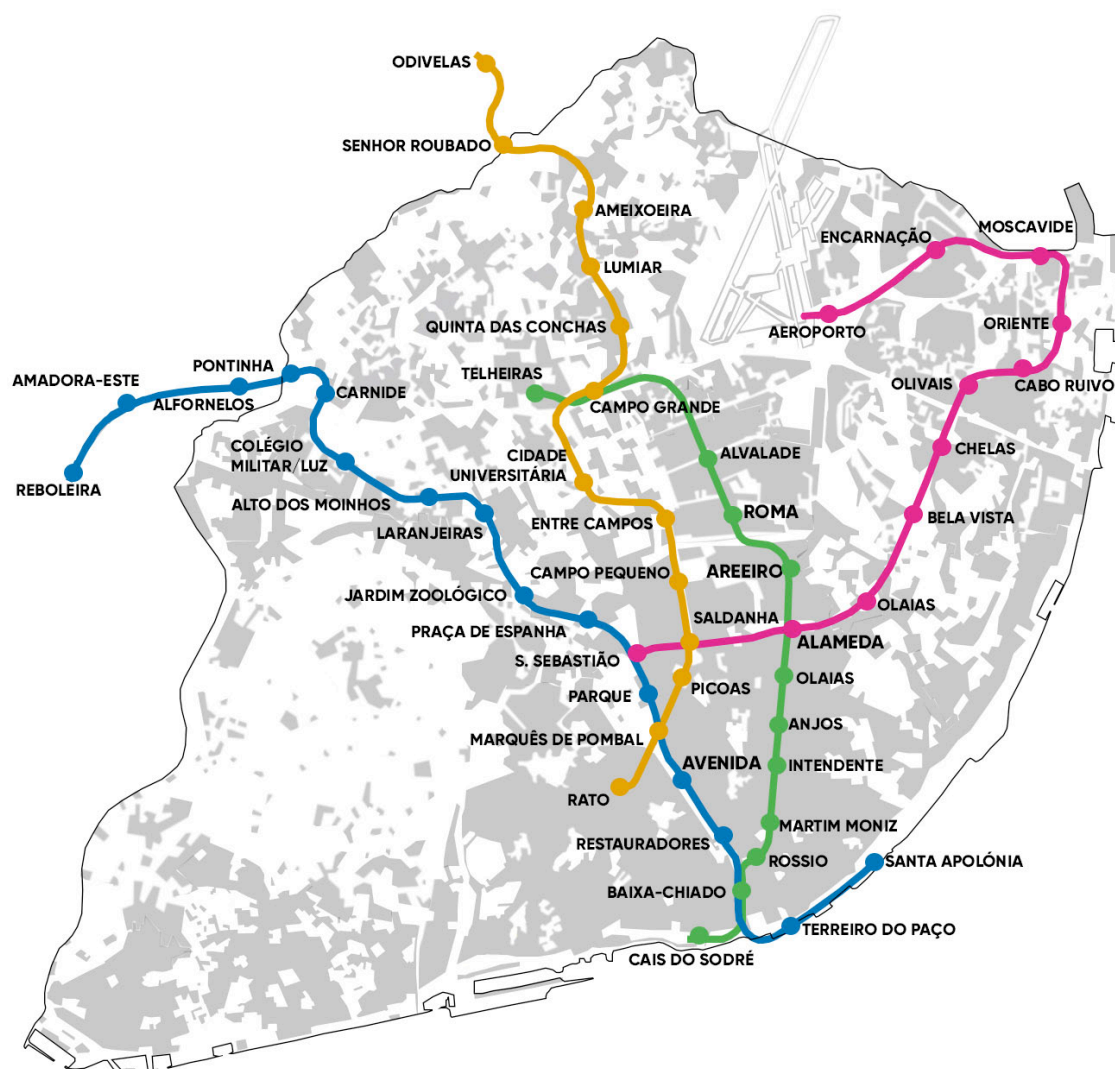


Figura 1 - Traçado do metropolitano da cidade de Lisboa- Esquema atual (2017) [3 e 6]

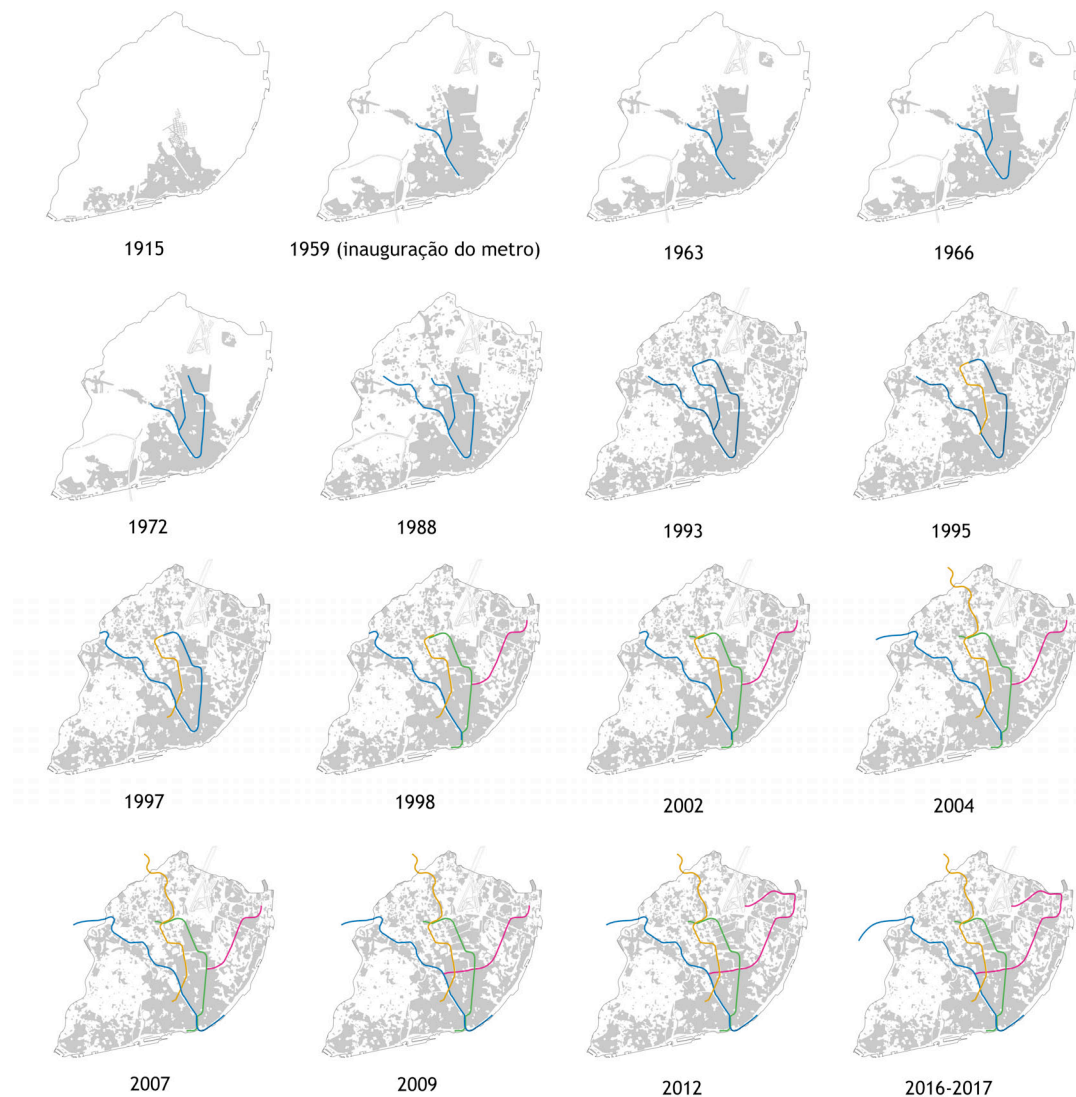


Figura 2 - Esquemas de evolução da rede de metro e crescimento da cidade de Lisboa [3]

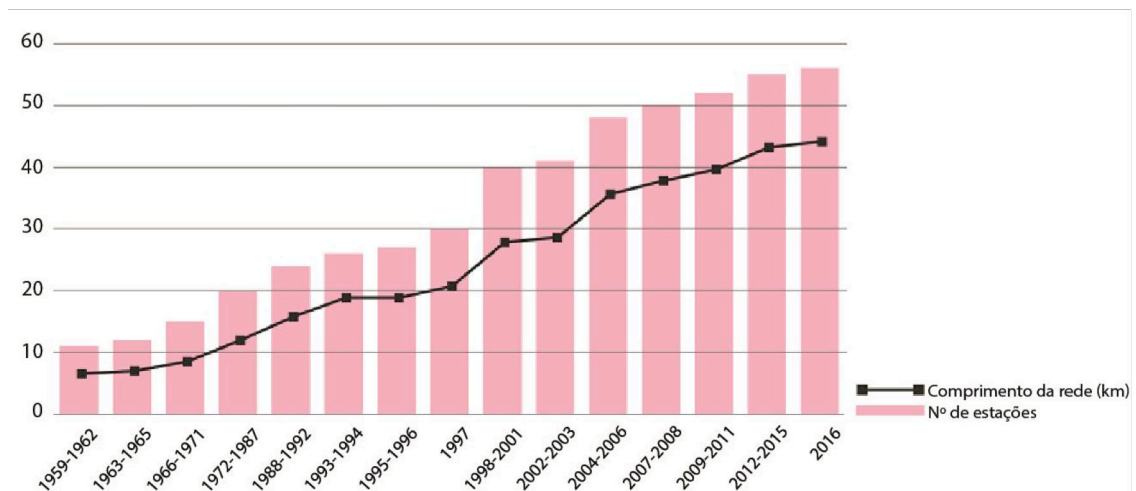


Figura 3 - Gráfico de evolução da rede de metro [5]





## 1 Metodologia

Este trabalho aplica a metodologia desenvolvida no artigo “The Public Space as a Consequence of Subway Expansion The Case Study of Lisbon Subway -1959 through 2009” [5] a um espaço temporal mais alargado (1959-2017) e analisa ainda cenários de expansão (2003-2017) do metro de Lisboa.

No processo metodológico procedeu-se à recolha de informação sobre o Metropolitano de Lisboa, na empresa Ferconsult (responsável pelos traçados de redes de metro) e no Arquivo Municipal de Lisboa.

Foram desenhados esquemas da rede de metro referentes às várias fases de expansão, desde 1959 até 2017, para uma análise sobre as estações com maior grau de centralidade na história do metro. De igual forma, fez-se o desenho de seis cenários de redes de metro correspondentes aos estudos de expansão em Maio de 2003 [7], Julho de 2008 [8], Agosto de 2009 [9], Julho de 2012 [10] e Maio de 2017 (cenário a e b) [4], propostos em relatórios do Metropolitano de Lisboa e da Ferconsult (empresa de traçados e redes de metro).

O desenho das redes é simplificado para a medição e perceção das relações entre os nós/estações das diferentes linhas da rede do metro. Utilizam-se para isso grafos, enquanto esquema apropriado para a medição de redes. Assim, para cada uma das redes resultantes foi tido em conta o papel de cada estação de metro na dinâmica global da rede, utilizando dois tipos de medidas de centralidade para concretizar a análise: Betweenness e Closeness.

A Betweenness representa uma medida de que permite perceber a importância de uma estação de metro em termos de fluxo de passageiros, que têm que passar pela mesma, a fim de conectar duas outras estações. Ou seja, trata-se da medida do papel de intermediador de um determinado nó no tráfego da rede. Matematicamente esta medida é dado em termos de fracção de caminhos geodésicos que passam por um determinado vértice.

A Closeness é uma medida de proximidade e refere-se à medição de um nó a todos os outros restantes. Esta medida é definida em termos de distancia geodésica, ou seja, vendo qual é o numero de passagens pelos nós necessário, para ir de um nó ao outro através do caminho mais curto.

O desenvolvimento urbano da cidade de Lisboa ao longo dos tempos é retratado na figura 2. Esta caracterização do desenvolvimento do tecido urbano de Lisboa é elaborada com base em fotografia aérea e na cartografia histórica. O primeiro esquema corresponde ao levantamento da Planta de Lisboa do Engenheiro Silva Pinto em 1911 e os restantes foram realizados através da análise da cartografia da cidade disponibilizada on-line na aplicação “Lisboa Interactiva” pela Câmara Municipal de Lisboa.

## 2 Análise

A estrutura da rede do metropolitano de Lisboa é atualmente composta por 4 linhas, 44,2 km de comprimento e 56 estações (Figura 1), em que 6 destas estações são resultado de cruzamentos [11]. Estes cruzamentos são importantes pontos na cidade, pois resultam de zonas centrais e de espaços públicos, ou permitem a formação de novas centralidades e consequentemente expandem o tecido urbano e/ou regeneram espaços.

Na história da expansão da rede do metro, a adição de uma estação provoca alterações na medição das relações entre todas as estações da rede. Estas alterações na cidade subterrânea modificam também as dinâmicas na cidade, à superfície, onde os espaços são valorizados em função das estações de metro correspondentes e com maior grau de centralidade. Exemplos disto poderão ser as estações de Entre Campos e de Sete Rios (Jardim Zoológico) que em 1959 eram estações periféricas e que atualmente, pela extensão da rede, se tratam de estações localizadas perto de zonas de centralidade em Lisboa (Fig.2 e 4).

Neste sentido, conduziu-se uma análise sobre as transformações na rede de metro, nas suas várias fases de expansão. A rede do metro, enquanto um conjunto de vértices (estações) unidos por conexões (linhas), será analisada relativamente ao cálculo dos valores de centralidade das diferentes estações nas 4 linhas existentes, com o objetivo de perceber as dinâmicas das relações na rede e também os seus reflexos na evolução ou transformação da cidade.

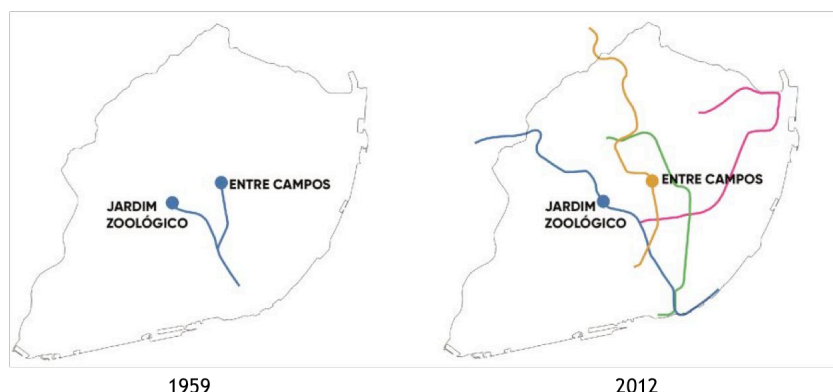


Figura 4 - Estações de Entre Campos e Sete Rios na rede do metropolitano em 1959 e em 2012 [3]

### 3 Resultados

Foram calculados os valores de Closeness e Betweenness para todas as estações da rede de metro, desde a sua inauguração (1959) até à atualidade (2017), e diferentes cenários de expansão da rede (2003 a 2017).

- **Top 3 das estações mais centrais**

Construíram-se quadros síntese representativos destes valores para as 3 estações com valores mais altos nas suas medidas de centralidade, ao longo da história de expansão da rede de metro. Escolheram-se períodos específicos com mais relevância na evolução da rede, para demonstração desta análise, sendo eles o ano de abertura do metropolitano-1959, o ano de 1972, 1998, 2004, 2009 e 2012. Excluiu-se deste quadro o ano 2017 (atualidade), por se tratar de um ano com pouca relevância em relação ao aumento de estações na rede.

Nas tabelas 1 e 2 pode observar-se que a estação da Rotunda (Marquês de Pombal) assume um papel importante na rede, com valores altos de Betweenness e de Closeness durante vários anos. Esta estação trata-se da primeira estação de correspondência entre os dois primeiros troços formados (Fig.1, 2) e torna-se portanto a estação com maior fluxo de passageiros.

As estações Picoas e Parque apresentam inicialmente valores de centralidade elevados pela proximidade que, apresentam em relação à estação da Rotunda. A partir de 1966, com a expansão da rede até à estação Anjos, e em 1972 até Alvalade (Fig.2), as estações Avenida e Restauradores passam a ter protagonismo, com valores de centralidade igualmente altos. Em 1998, na análise da Betweenness (Tabela 1), a estação da Alameda assume grande importância, pois passa a ser também uma estação de correspondência entre duas linhas e passa a integrar numa linha nova, sendo a estação inicial deste circuito (Fig. 1 e 2). Pode ainda observar-se que a estação do Campo Grande, anteriormente periférica e sem protagonismo até 1993, assume um papel importante a partir de 1995, quando passa a ser uma estação de correspondência entre a Linha Azul (mais tarde Verde) e Linha Amarela (Fig.2). Em 2004, esta estação assume ainda mais relevância, quando se expande a linha Amarela até à periferia de Lisboa. (Fig.2 e Tabela 1).

Por outro lado, em 2009, após a intersecção da linha Vermelha com as três restantes (Fig.2), a grande centralidade move-se para a zona do Saldanha, S. Sebastião e Alameda (Tabela 1 e 2), mantendo-se até à atualidade (2017).

Tabela 1 - Quadro Betweenness - Top 3 da rede existente

| 1959    | 1972          | 1998    | 2004         | 2009        | 2012        |
|---------|---------------|---------|--------------|-------------|-------------|
| Rotunda | Rotunda       | Rotunda | Rotunda      | Saldanha    | Saldanha    |
| Picoas  | Avenida       | Parque  | Parque       | Alameda     | Alameda     |
| Parque  | Restauradores | Alameda | Campo Grande | S.Sebastião | S.Sebastião |



Tabela 2- Quadro Closeness- Top 3 da rede existente

| 1959    | 1972          | 1998          | 2004     | 2009        | 2012        |
|---------|---------------|---------------|----------|-------------|-------------|
| Rotunda | Rotunda       | Rotunda       | Rotunda  | Saldanha    | Saldanha    |
| Picoas  | Avenida       | Avenida       | Picoas   | Alameda     | Alameda     |
| Parque  | Restauradores | Restauradores | Saldanha | S.Sebastião | S.Sebastião |

Nesta análise foram ainda estudadas diversas centralidades, segundo cenários de expansão do metropolitano, elaborados em diferentes anos. Analisaram-se seis cenários de redes de metro correspondentes aos estudos de expansão em 2003, 2008, 2009, 2012 e 2017- cenário A e B.

No estudo elaborado em 2003 [7] são propostas extensões para as 4 linhas da rede do metropolitano (Fig.5).

1) Na linha Vermelha é proposta a extensão do Aeroporto ao Lumiar, fazendo-se uma nova correspondência com a linha Amarela a norte. São ainda desenhadas extensões de Moscavide a Sacavém e de S. Sebastião a Miraflares, passando por Campolide, Amoreiras, Campo de Ourique e ligando a uma linha externa de metro ligeiro de superfície [7].

2) Na linha Azul, tendo em conta que em 2003 ainda não existia a extensão até Amadora Este, é proposta a extensão da linha até Alfovelos e Falagueira [7].

3) Na linha Verde é proposto o prolongamento a norte da estação de Telheiras à Pontinha, fazendo correspondência com a linha Azul e a sul a extensão do Cais do Sodré a Alcântara, sendo esta estação um ponto de correspondência entre esta linha e a linha Amarela [7].

4) Em último, pretende-se que a Linha Amarela atravessasse a cidade com uma extensão do Rato a Alcântara e de Alcântara a Algés, conectando também com a linha de metro ligeiro de superfície, que intersectaria as estações da rede de metro subterrâneo em Algés, Miraflares e Falagueira e ligaria a ponta da cidade de Algés até Loures, tornando-se numa linha exterior periférica [7].

Com estas extensões e novas intersecções a rede ganha complexidade e as estações existentes da Pontinha e do Lumiar passam a ser estações relevantes, ao tornarem-se estações de correspondência. As novas estações propostas como Alcântara, ou Algés, Miraflares e Falagueira, que conectam com uma linha de transporte exterior passam a ter igualmente importância. Contudo, embora com valores de Betweenness e Closeness altos, as estações com valores mais altos de centralidade mantêm-se em relação à rede atual. Assim, as estações do Saldanha, Alameda e Sebastião são as estações mais centrais, à exceção da estação da Rotunda que ultrapassa os valores de Betweenness em relação à estação da Alameda (Tabelas 3 e 4).

O estudo apresentado no relatório do Metropolitano de Lisboa de 2008 [8] mostra algumas semelhanças com a proposta de 2003 [7] (Fig.5).

Na linha Vermelha é proposta a extensão desde S. Sebastião a Campo de Ourique e do Aeroporto ao Lumiar, mais a extensão até à estação Colégio Militar/Luz, de correspondência com a linha Azul. Esta extensão possibilita que a Linha Vermelha faça correspondência a norte com as linhas Amarela e Azul, permitindo que a população das periferias possa trocar de linha, sem ter que ir ao centro da cidade de Lisboa, enriquecendo bastante a rede. Na linha Amarela, também à semelhança do plano de 2003 [7], é proposta a extensão desde a Rotunda até Alcântara [8].

Neste plano a linha Vermelha assume maior importância, por atravessar todas as restantes linhas da rede, a norte e a sul da cidade. Esta linha faz correspondência com as três restantes linhas, nas estações Saldanha, S. Sebastião e Alameda, e com as linhas Amarela e Azul, através das estações Lumiar e Colégio Militar, transformando as zonas correspondentes a estas estações, em novas centralidades. Contudo, as estações mais centrais continuam a situar-se no mesmo eixo da linha Vermelha, já que se trata do troço mais curto que intersecta todas as linhas (Tabelas 3 e 4).



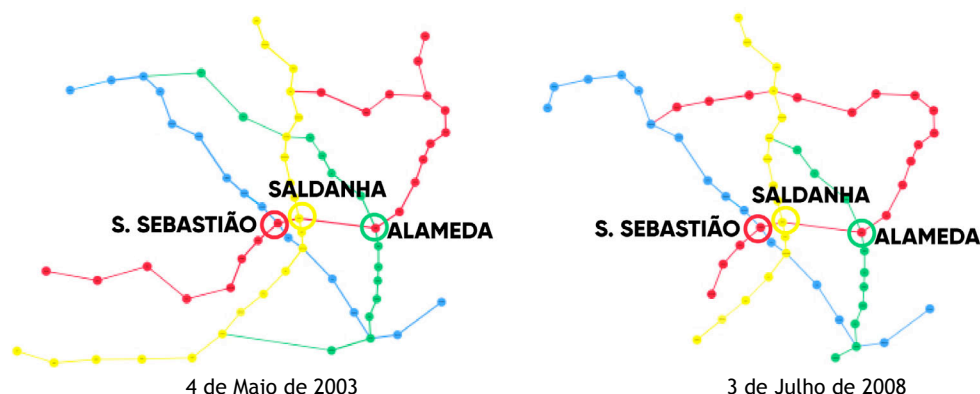


Figura 5 - Esquemas da rede de metro, segundo os planos de expansão de 2003 e 2008 [3]

Nos estudos de 2009 [9] e 2012 [10], com pequenas alterações entre si, já se apresentam modificações significativas em relação à rede atual, nas duas medidas de centralidade analisadas (Tabelas 1,2,3 e 4). Na análise da Closeness, Saldanha e S. Sebastião mantêm-se como estações com valores mais altos. A estação do Campo Pequeno passa a ter o valor mais alto de Closeness, substituindo a estação da Alameda, em relação à rede de metro atual (Tabelas 3 e 4).

Nestes planos surgem ainda alterações em relação à passagem das linhas pelas estações, como é o exemplo do Saldanha, que deixa de pertencer à linha Amarela e passa a pertencer à linha Verde [9 e 10] (Fig.6).

Quanto à análise da Betweenness, a estação de S. Sebastião apresenta valores muito próximos em relação à rede atual (2016/17), enquanto a estação do Saldanha apresenta valores mais baixos e a estação da Alameda desce consideravelmente. O Campo Grande passa a ser a estação com o valor mais alto de Betweenness, pelo facto de passar a estar integrada em 3 linhas- Amarela, Verde e Vermelha (Tabelas 3 e 4).

Para além das extensões propostas nestes planos de expansão [9 e 10], as alterações efetuadas nas linhas vão provocar algumas diferenças em relação à rede atual, onde algumas estações assumem diferentes valores de centralidade. Na Betweenness, os casos do Campo Grande, Ameixoeira, S. Roubado, Ameixoeira, Odivelas, Telheiras, Amadora Este e Aeroporto, apresentam discordâncias, pois existe um acréscimo de estações e novas ligações, que tornam estas estações menos periféricas, sendo a linha Amarela aquela que mais muda. Em relação à Closeness, as estações do Aeroporto, Encarnação, Pontinha e Carnide, com valores muito baixos na atual rede (2016/17) apresentam valores muito mais altos, devido às extensões na linha Vermelha. Nestes dois planos (2009 e 2012) a linha Amarela passa a ser aquela com menor número de estações e também a linha mais periférica, por ter a maioria das estações fora dos limites da cidade de Lisboa e por supor uma extensão para o concelho de Loures (Fig.6) (Tabelas 3 e 4) [9 e 10].

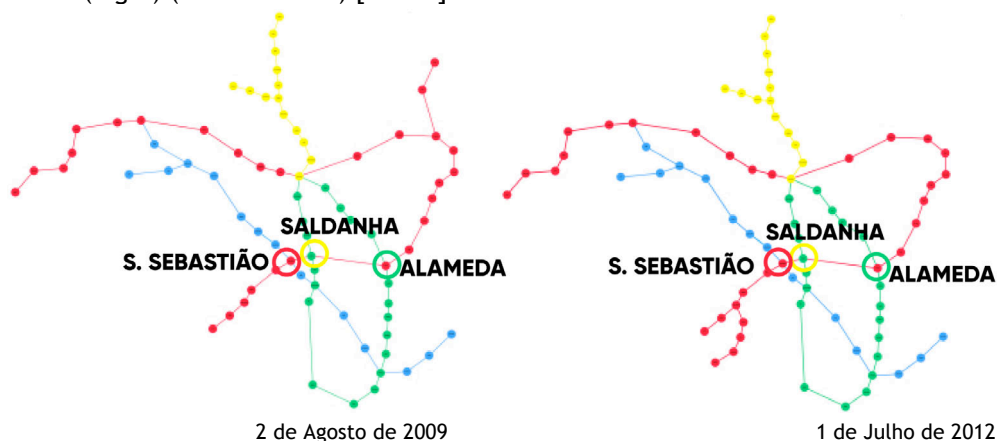


Figura 6 - Esquemas da rede de metro, segundo os planos de expansão de 2009 e 2012 [3]



O Plano de expansão apresentado a 8 de Maio do ano atual (2017) [4] conta com dois cenários distintos, onde as estações Estrela e Santos são comuns. O cenário 2017a corresponde ao prolongamento da linha amarela, que integra estas novas estações e faz correspondência com a linha verde na estação do Cais do Sodré (Fig.7). Em relação à rede atual (2016/17) existe apenas esta alteração no prolongamento da linha Amarela [4] e o troço Alameda, Saldanha e S. Sebastião continua a ser a grande centralidade (Tabelas 3 e 4). O cenário 2017b caracteriza-se pela extensão da linha vermelha, com o acrescento das estações Amoreiras e Campo de Ourique, e pelo prolongamento da linha verde, integrando as estações Estrela e Santos. Neste cenário, a linha amarela passa a ser uma linha na periférica, enquanto a linha verde passa a ser um anel central na cidade [4]. Na análise de grafos foi ainda acrescentada a ligação pedonal da estação do Rato às Amoreiras, proposta pelo Metropolitano de Lisboa no cenário 2017b (Fig.7) [4]. Neste cenário as estações mais centrais mantêm-se em relação ao cenário anterior, mas as dinâmicas na cidade iriam mudar, no sentido em que as novas estações e nova ligação pedonal Rato-Amoreiras iriam valorizar a área de influência destas estações (Tabelas 3 e 4).

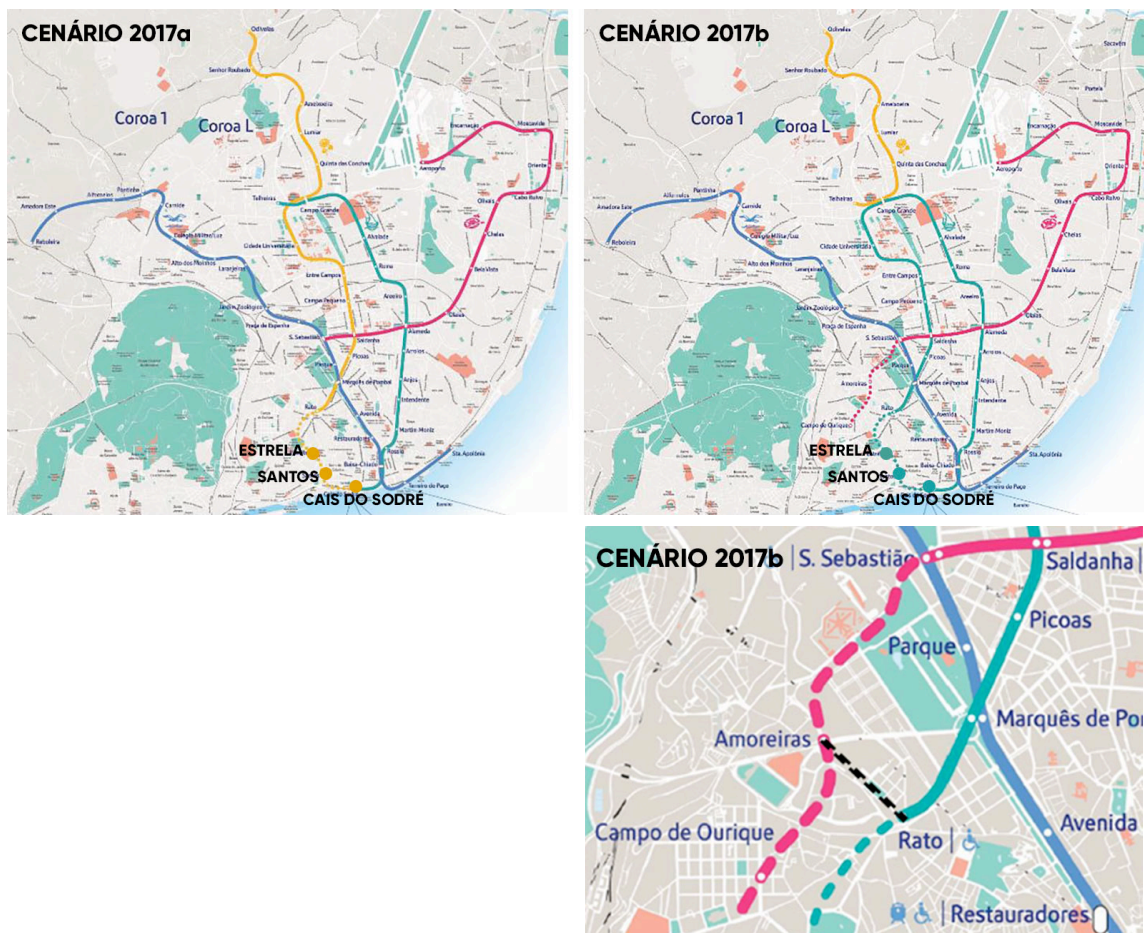


Figura 6 - Esquemas da rede de metro, segundo os planos de expansão de 8 de Maio, para 2017- cenário a e b, [5]

Os quadros representativos do top 3 mostram os valores altos relativamente à Betweenness e à Closeness para as estações Saldanha e S. Sebastião, em todos os cenários de expansão. No quadro relativo à Betweenness observa-se que, nas propostas para os cenários de expansão de 2009 e 2012, o Campo Grande passaria a ser a grande centralidade. Esta estação seria um nó de correspondência de três linhas ao mesmo tempo, com um grande fluxo de passageiros, acompanhado pelo troço Saldanha, Alameda e S. Sebastião. No cenário de 2003 a estação da Rotunda assume um valor alto de centralidade, enquanto nos cenários de



2008, 2017a e 2017b a estação da Alameda prevalece. No quadro sobre a Closeness, a estação do Campo Pequeno assume um valor de centralidade mais alto do que a estação da Alameda, que é central nos restantes cenários analisados (Tabelas 3 e 4).

Tabela 3- Quadro Betweenness- Top 3 cenários de expansão

| Cenário 2003 | Cenário 2008 | Cenário 2009 | Cenário 2012 | Cenário 2017a | Cenário 2017b |
|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| Saldanha     | Saldanha     | Saldanha     | Saldanha     | Saldanha      | Saldanha      |
| S.Sebastião  | S.Sebastião  | S.Sebastião  | S.Sebastião  | S.Sebastião   | S.Sebastião   |
| Rotunda      | Alameda      | Campo Grande | Campo Grande | Alameda       | Alameda       |

Tabela 4- Quadro Closeness - Top 3 cenários de expansão

| Cenário 2003 | Cenário 2008 | Cenário 2009 | Cenário 2012 | Cenário 2017a | Cenário 2017b |
|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| Saldanha     | Saldanha     | Saldanha     | Saldanha     | Saldanha      | Saldanha      |
| S.Sebastião  | S.Sebastião  | S.Sebastião  | S.Sebastião  | S.Sebastião   | S.Sebastião   |
| Alameda      | Alameda      | C.Pequeno    | C.Pequeno    | Alameda       | Alameda       |

Observando os resultados, verifica-se a necessidade de elaborar uma análise análoga para as várias redes de transportes de Lisboa interpretando estes resultados num contexto mais alargado.

Neste sentido, as zonas com maior grau de centralidade e respetivas áreas de influencia poderiam manter os resultados apresentados, mas iriam alterar bastante o valor de centralidade de algumas estações. Isto significa que, na análise da rede do metro isolada as estações que, fazem a correspondência entre linhas são aquelas que, apresentam maior grau de centralidade. Contudo, numa análise entre a rede de metro, comboio, barco, elétrico e autocarro, estes resultados iriam alterar-se. Isto porque, seriam as estações de correspondência entre as diferentes redes, que possivelmente apresentariam os resultados mais altos de centralidade.

A presente análise mostra que o troço entre a Alameda e São Sebastião corresponde, na maior parte das variações da rede do metro, às estações com maior grau de centralidade. Por consequência, as suas áreas de influencia à superfície são as mais valorizadas. Exemplo disto é o caso da zona do Saldanha, que se transforma ao longo dos anos, passando de área residencial, para área comercial, com diferentes intervenções arquitetónicas [12].

Numa proposta de análise futura, poderia comprovar-se o exemplo da zona do Aeroporto de Lisboa, que embora seja uma estação totalmente periférica na rede de metro e sem valor de centralidade, a sua combinação com a rede aérea (que poderia ir até à escala mundial) iria influenciar seguramente o seu valor de atratividade.

## Conclusão

Neste artigo apresenta-se uma aplicação de medidas de centralidade para avaliação do desenvolvimento do metropolitano de Lisboa entre 1956 e 2017 e de cenários de expansão da sua rede entre 2003 e 2017. Existem implicações no crescimento da rede de metro no desenvolvimento da cidade de Lisboa como referenciado neste artigo [1,3 e 5]. Observou-se um crescimento da rede do metropolitano de Lisboa de 1959 a 2017, mas sem novas conexões a partir de 2009, o que estabilizou as medidas de Betweenness e Closeness para o Saldanha e S. Sebastião (as mais altas da rede), quer na rede existente, quer nas propostas de cenários de expansão. A única variação nesta análise corresponde aos cenários de expansão de 2009 e 2012, substituindo os valores altos de centralidade na Alameda, pelas estações do Campo Grande e Campo Pequeno, nas medidas Betweenness e Closeness, respectivamente. A expansão da rede para a periferia da cidade não se tem realizado pela densificação da rede, mas antes por um crescimento linear, mantendo-se assim a grande centralidade no Saldanha, desde 2009. Contudo, foram observadas algumas intensões de fortalecimento da rede, no sentido de gerar interfaces de transportes, como é o exemplo da ligação à estação do Aeroporto de Lisboa, ou a conexão à linha ferroviária de Sintra, na estação da Reboleira.





O metro de Lisboa e a sua cidade dependem da futura estruturação e consolidação da rede. Esta rede atingiu a atual periferia da cidade, todavia o seu desenvolvimento continuará a condicionar o tecido urbano nas suas múltiplas identidades, sociológicas, económicas e arquitectónicas.

Este artigo justifica a necessidade dum estudo do cruzamento de redes diferenciadas (metro, autocarro, comboio) para a cidade de Lisboa.

## Referências

- [1] Salgueiro, T. "Os transportes no desenvolvimento das cidades portuguesas", *Povos e culturas*, nº 2, (1987), pp. 113-144.
- [2] Roseta, F., Cidade em Zapping - o metropolitano na leitura da forma urbana. *Actas do IV colóquio temático - As escalas de Lisboa: Morfologias População Identidades*, Lisboa, Portugal, 6 de Julho de 2001, pp.415 -422.
- [3] Albuquerque, S. *Cidade do Futuro - O sistema do metropolitano no desenvolvimento dos núcleos urbanos de Lisboa e Loures*, Dissertação de Mestrado Integrado em Arquitectura, ISXCTE-IUL, Lisboa, 2014.
- [4] Metropolitano de Lisboa, E.P. ,*Evolução da rede*, <http://www.metrolisboa.pt/empresa/o-metro-em-numeros/evolucao-da-rede/> (25/10/2017)
- [5] Rodrigues, D. e Sampayo, M. The Public Space as a Consequence of Subway Expansion: The Case Study of Lisbon Subway - 1959 through 2009' 5th. *International PhD Seminar Urbanism & Urbanization, Leuven*, Bélgica, 2009, pp. 77-79.
- [6] Metropolitano de Lisboa, E.P.E(c), *Evolução da linha'*  
<http://www.metrolisboa.pt/empresa/um-pouco-de-historia/evolucao-da-rede/>  
(25/06/2017)
- [7] Ferconsult. *Estudos de expansão da rede ML*, Ferconsult e Metropolitano de Lisboa E.N., Lisboa, Portugal, Maio de 2003, (Inédito).
- [8] Metropolitano de Lisboa E.P. e Atkins *Estudo de Impacte Ambiental do prolongamento da Linha Vermelha entre São Sebastião e Campolide*  
<http://siaia.apambiente.pt/AIADOC/AIA1869/RNT1869.pdf> (11/07/2017).
- [9] Ferconsult. *Estudos de expansão da rede ML*, Ferconsult e Metropolitano de Lisboa E.N., Lisboa, Portugal, Agosto de 2009, (Inédito).
- [10] Metropolitano de Lisboa *Relatório de sustentabilidade 2012*  
<http://www.metrolisboa.pt/wp-content/uploads/Relat%C3%B3rio-de-sustentabilidade-2012.pdf> (13/07/2017).
- [11] Metropolitano de Lisboa E.P.E.(a) *Um pouco de história* <http://www.metrolisboa.pt/empresa/um-pouco-de-historia/> (25/07/2017)
- [12] Silvestre, C. e Sampayo, M. The impact of Lisbon's subway development on Avenida da República. In *Proceedings of 21st International Seminar on Urban Form (Our common future in Urban Morphology)*, Porto, July 3 to 6, 2014, Porto: FEUP, 2014, pp. 401-414.